

УДК 669.539.382:669.17:625.1

**Ю. А. Рубанникова¹, В. Е. Кормышев¹, В. Е. Громов^{1*}, А. А. Юрьев²,
Е. В. Полевой²**¹ Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк² Евраз-Западно-Сибирский металлургический комбинат, г. Новокузнецк

*gromov@physics.sibsiu.ru

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ 100-М РЕЛЬСОВ

Методами современного физического материаловедения исследованы структурно-фазовое состояние, дефектная субструктура и свойства 100-м рельсов категории ДТ350 после экстремально длительной эксплуатации. Исследования проводились на различном расстоянии: 0, 2, 10 мм по центральной оси и выкружке. Показано, что дифференцированная закалка сопровождается формированием морфологически многоплановой структуры, представленной зернами пластинчатого перлита, феррито-карбидной смеси и структурно-свободного феррита.

Ключевые слова: дифференцированно закаленные рельсы, структура, фазовый состав, послойный анализ

Yu. A. Rubannikova, V. E. Kormyshev, V. E. Gromov, A. A. Yuriev, E. V. Polevoy

THIN STRUCTURE OF DIFFERENTIALLY HARDENED 100M RAILS

The methods of modern physical materials science are used to study the structural phase state, defective substructure, and properties of 100 m rails of the DT350 category after extremely long operation. The studies were carried out at different distances of 0, 2, 10 mm along the central axis and the fillet. It is shown that differentiated hardening is accompanied by the formation of a morphologically diverse structure, represented by grains of lamellar perlite, ferrite-carbide mixture, and structurally free ferrite.

Key words: differentially hardened rails, structure, phase composition, layered analysis

В настоящее время на долю железных дорог в мире приходится до 85 % грузооборота и более 50 % пассажирских перевозок. В по-

следнее время наблюдается значительное увеличение интенсивности движения железнодорожного транспорта и его грузонапряженности, что требует высокой эксплуатационной стойкости рельсов. Для решения этих проблем используется технология дифференцированной закалки 100-м рельсов.

Важность информации в этой области определяется глубиной понимания фундаментальных проблем физики конденсированного состояния с одной стороны и практической значимостью проблемы с другой [1; 2].

Целью настоящей работы являлось исследование структуры, фазового состава, дефектной субструктуры и свойств, формирующихся на различном расстоянии по центральной оси и выкружке в головке 100-метровых дифференцированно закаленных рельсов после пропущенного тоннажа 1411 млн т.

В качестве материала исследования были использованы образцы 100-метровых дифференцированно закаленных рельсов категории ДТ350 из вакуумированной стали марки Э76ХФ, химический состав которых удовлетворяет требованиям ТУ 0921–276–01124323–2012.

Микроструктуру металла изучали на шлифах, вырезанных из верхней части головки (выкружки и поверхность катания) до и после травления в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты. Исследования структуры стали, тонкой и дефектной субструктуры проводили, используя методы оптической микроскопии (Olimpus GX 51), просвечивающей (JEM-2100F) и сканирующий электронный микроскоп (MIRA 3 Tescan) [3–5]. Исследование фазового состава и состояния кристаллической решетки осуществляли методами рентгеноструктурного анализа (дифрактометр XRD-6000, Shimadzu).

Дифференцированная закалка стали сопровождается формированием морфологически многоплановой структуры, представленной зернами пластинчатого перлита, зернами феррито-карбидной смеси и зернами структурно-свободного феррита, располагающимися в виде вкраплений по границам зерен перлита. Относительное содержание выявленных типов структуры зависит от глубины залегания исследуемых слоев.

Зерна феррито-карбидной смеси характеризуются наличием в объеме феррита частиц карбидной фазы, различных по форме и размерам. Выделяются частицы глобулярной формы и в виде коротких пластинок.

Дисперсность структуры перлита оценивали по величине межпластинчатого расстояния. Видно, что она изменяется в пределах от 125 до 185 нм и снижается при переходе от поверхности катания вглубь рельса. Следуя ГОСТ 8233–56, можно сказать, что перлитная структура всех образцов исследуемой рельсовой стали относится к первому баллу, характеризуется как сорбитообразная, тип структуры — троостит.

Ферритная составляющая структуры стали дефектна. Методами электронной микроскопии выявлена дислокационная субструктура в виде хаотически распределенных дислокаций, сетчатая, ячеистая и фрагментированная дислокационная субструктуры. В феррите перлитных зерен наблюдаются лишь первые два типа дислокационной субструктуры (субструктура дислокационного хаоса и сетчатая дислокационная субструктура); ячеистая и фрагментированная дислокационная субструктуры выявляются лишь в зернах структурно свободного феррита и в зернах феррито-карбидной смеси.

Скалярная плотность дислокаций в исследуемой стали изменяется в пределах от 4×10^{10} до $6,0 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. При этом в зернах феррито-карбидной смеси величина скалярной плотности дислокаций несколько выше, чем в ферритной составляющей зерен перлита независимо от расположения (по центральной оси или на выкружке) и расстояния исследуемого слоя от поверхности катания.

В поверхностном слое выкружки до ~ 2 мм в феррите пластинчатого перлита выявлены наноразмерные (< 15 нм) частицы карбидной фазы, что указывает на повторный распад твердого раствора на основе $\alpha\text{-Fe}$ после формирования перлитной структуры. Так как подобных наноразмерных частиц в слое на центральной оси не обнаружено, то это может свидетельствовать о более высокой скорости охлаждения выкружки.

Методами современного физического материаловедения выполнены послойные исследования структурно-фазовых состояний, дефектной субструктуры и свойств дифференцированно закаленных 100-метровых рельсов ДТ350. Установлено, что независимо от расстояния до поверхности катания и направления исследования (по центральной оси или по выкружке) закалка сопровождается формированием морфологически многоплановой структуры, представленной зернами пластинчатого перлита, зернами феррито-карбидной смеси и зернами структурно-свободного феррита, располагающимися в виде вкраплений по границам зерен перлита.

*Работа выполнена по гранту при финансовой поддержке РФФИ
(проект № 19–32–60001).*

Литература

1. Эволюция структурно-фазовых состояний металла и рельсов при длительной эксплуатации / В. Е. Громов [и др.]. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2017. 164 с.
2. Microstructure of quenched rails / V. E. Gromov [et al.]. Carbide, CISP Ltd, 2016. 153 p.
3. Egerton F. R. Physical Principles of Electron Microscopy. Basel : Springer International Publishing, 2016. 196 p.
4. Kumar C. S. S. R. Transmission Electron Microscopy. Characterization of Nanomaterials. New York : Springer, 2014. 717 p.
5. Carter C. B., Williams D. B. Transmission Electron Microscopy. Berlin : Springer International Publishing, 2016. 518 p.